

水土保持技師公會

水土保持技術

論文下載網址: <http://swct.mdu.edu.tw>

野溪清疏作業方法之三：河道淤積分佈與規模評估作業

姜煒秀¹、吳上豪²、蔡正壽²、連榮吉³、蘇苗彬^{4,*}

¹農委會水土保持局 科長

²農委會水土保持局 主辦

³農委會水土保持局 組長

⁴中興大學土木系 教授

關鍵詞

數值航空攝影測量、
數值地形模型、河相學、
河床高變化、瓶頸段

摘要 集水區的整體規劃應從現況了解、調查，找出本集水區的問題所在，並依其訂定策略及實施方法。清疏作業的需求與工作內容的擬定，應按整體治理的需求項目來訂定，因此對於集水區土砂量之規模與分布狀況的了解為其重要，應用數值航空攝影測量方法來評估河道瓶頸段為可行之方法。對過去的研究來說，要能得到現地的地形資料，就必須對於邊坡或河道進行測量的工作。河道長且落差大，地區廣闊，要進行實地測量工作已有困難，還要回溯已經消逝的過去歷史資料更無可能性。由於範圍廣闊，受限於調查方式，多處災區人員難以到達現地調查與測量，無法有效分析現地變化，因此運用航空攝影測量有即時、拍照範圍遼闊、可進行多光譜調查、影像直接可視等優點，在精度許可下，可取代許多需在交通不便區域所進行的測量工具。使用 Erdas Imagine 的 Leica Photogrammetry Suites(LPS)模組，重建不同時期之具有大地座標之正攝化影像(Orthoimage)與數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)，針對崩塌地、野溪河道進行砂石崩塌量及土石淤積評估，其土砂空間分布情形，瞭解生產、堆積、搬運區等之分布，供後續治理工程規劃之參考依據。為瞭解土石變遷造成的危害，運用 LPS 模組，分別重製不同時期之數值地形模型，並以水系空間分析區分為平面空間分析與縱向空間分析，前者是以水系及河床樣貌來分析水系的變異情況；後者主要是以垂直方向來探討河道高程的變化、土石的變異量以及河道的縱剖面與橫剖面，並檢討其成因。

收稿：101 年 3 月 27 日
修改：101 年 3 月 15 日
接受：101 年 4 月 28 日
(本文開放討論至 102 年
7 月 30 日)

*通訊作者，電話：04-22872221 轉 106；傳真：04-22856409；E-mail address: mbsu@dragon.nchu.edu.tw

一、前言

台灣地質破碎且位處颱風路徑及地震帶上，致使颱風、豪雨造成的災害非常嚴重，近年來颱風豪雨災害頻傳，致使坡地產生大量崩塌，崩落之土石復加河道原有之淤積材料，經由洪水輸送至中、下游，導致溪床抬高及河道堵塞，土石壅高後，淹埋了兩岸的居住地，危害保全對象之安全，又因河道淤積後，水路亂竄，攻擊兩岸路堤，致使道路下邊坡基礎流失，橋梁損壞等嚴重災情，損失不貲。而上游野溪河道仍有大量淤積土石待清理與疏通，為現階段水土保持局之課題，為掌握轄區內野溪現況及清疏成效，應積極了解集水區問題及評估其清疏需求。

集水區的整體規劃應從現況了解、調查，找出本集水區的問題所在，並依其訂定策略及實施方法。清疏作業的需求與工作內容的擬定，應按整體治理的需求項目來訂定，因此對於集水區土石量之規模與分布狀況的了解為其重要，可運用數值航空攝影測量方法來進行河道瓶頸段之評估。

對過去的研究來說，要能得到現地的地形資料，就必須對於邊坡或河道進行測量的工作。河道長且落差大，地區廣闊，要進行實地測量工作已有困難，還要回溯已經消逝的過去歷史資料更無可能性。由於範圍廣闊，受限於調查方式，多處災區人員難以到達現地調查與測量，無法有效分析現地變化。利用數值航空攝影測量方法計算河道砂石淤積評估，經由數學解算的方式，再經由正攝處理，可由數值地形模型與正攝影像中數值資料作不同的評估分析。

以下以阿里山溪子集水區為例說明各種分析結果。

阿里山溪子集水區歷經民國 85 年賀伯颱風、88 年 921 地震以及 93 年敏督利颱風，阿里山鄉以及梅山鄉多處造成損毀以及人民生命財產

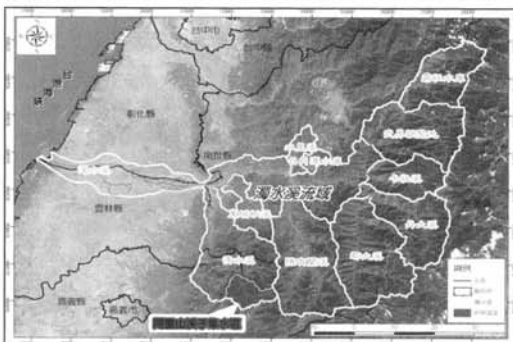


圖 1 濁水溪流域與研究區域位置圖

損失，而民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱風更重創此區域，豪大雨致使上游邊坡發生大量崩塌，土石淤積於河道，所經之處地形與河道變化甚大。集水區內大量土石下移，河道內土石嚴重堆積，河床變遷，土石運動過程對集水區內聚落、道路、耕地及公共設施形成嚴重傷害。

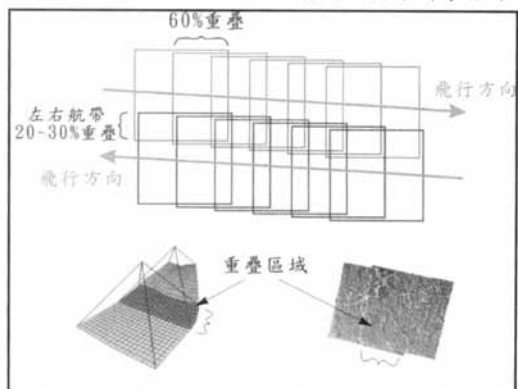
為瞭解土石變遷造成的危害，運用 LPS 模組，分別重製民國 85 年、94 年以及 98 年之三個時期之數值地形模型，並以水系空間分析區分為平面空間分析與縱向空間分析，前者是以水系及河床樣貌來分析水系的變異情況；後者主要是以垂直方向來探討河道高程的變化、土石的變異量以及河道的縱剖面與橫剖面，並檢討其成因。在研究中，縱向空間分析主要以河流的縱剖面分析為主，並輔以河流坡降指數(S-L Index)，坡降指數利用地形學河流縱剖面的概念，評估原河流縱剖面與理想河流縱剖面間的差異，用河流坡降指標作為評估的依據。

二、數值航空攝影測量

根據 ASPRS(American Society of Photogrammetry and Remote Sensing)的定義，攝影測量為一門透過記錄、量測、判釋像片影像或輻射電磁波之型態或其他現象，以獲得物體及環境之可靠資訊的藝術、科學及技術(Wolf,2000)。

航空照片要有立體模型(Stereo model)的效果，需在同一攝影航線方向有 50%以上的重疊；亦即前一張照片所覆蓋的地面範圍，後一張照片至少重複 50%以上。前後重疊與航帶重疊在航線上的關係，如圖 2 所示。

透過陸上及空中的攝影測量不但可以掌握土石堆積區位的現況，更可以透過測量分析掌握沖



(資料來源修改自：Leica Photogrammetry Suites Project Manager User's Guide)

圖 2 航空影像的重疊範圍

淤變化的區位與推估土石運移的數量與機制，提供長期掌握河床變化最直接的工具。

三、數值航空攝影測量成果分析

3.1 河道橫斷面分析

經由正攝影像數化河道範圍，繪製 17 處橫斷面並計算結果，位置分布如圖 4 所示，從圖 5 影像來看河道平面型態，顯示整條河道明顯變寬。表 1 為三個時期阿里山溪河道寬度。

3.2 河道縱剖面高程變異分析

經過 Arc Hydro 模組萃取出的水系，使用 3D Analyst 分析出三個年份之河道高程數據，將三個

時期的河道高程繪製成縱剖面圖並進行比較，可分析高程變異之情況。

比較阿里山溪主河道縱剖面，於民國 85 年至 94 年間，匯流處至五鄰大橋(A 區)河道平均堆積高度約 4.6 公尺；五鄰大橋至來吉大橋(B 區)河道平均堆積高度約 0.84 公尺；來吉大橋至來吉橋上游 150 公尺(C 區)河道平均堆積高度約 1.42 公尺。顯示民國 85 年至 94 年間河道皆為堆積之情形，A 區河道主要以堆積情形為主，B 區河道有冲刷與堆積的情況，C 區有堆積的情形發生。

民國 94 年至 98 年間，莫拉克颱風過後，整段河道皆為堆積之情形，平均堆積高度約 9 公尺，匯流處河道堆積約 15 公尺，來大橋至來吉橋

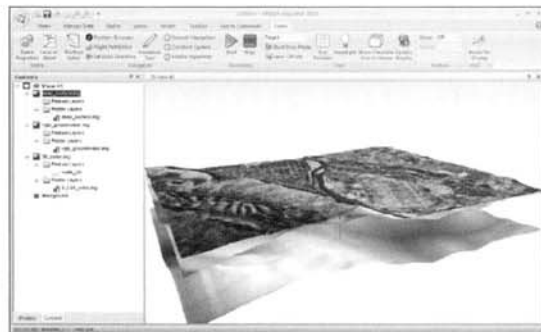


圖 3 使用 LPS 模組軟體，進行正攝處理及數值地形模型產製

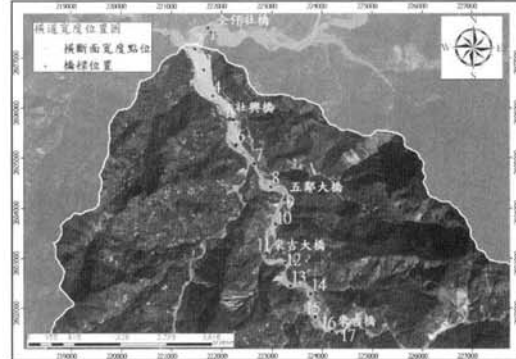


圖 4 河道橫斷面位置圖



圖 5 阿里山溪河道寬度比較，顯示整條河道明顯變寬

上游 150 公尺處河道堆積約 16 公尺，顯示 A 區以及 C 區為堆積最為嚴重之河段，社興橋與五鄰大橋皆被沖毀，來吉橋則遭受土石掩埋，比較縱剖面與現場調查，此與現場情況相符。

3.3 河道堆積變異量分析

莫拉克風災後，研究區域內河道大多為淤積之情況，整體治理應先進行清疏作業，為了能夠瞭解河道土石淤積情況，計算阿里山溪前後期數值地形模型，進行土石變異量的分析。

四、河流坡度異常區域評估

在研究中，縱向空間分析主要以河流的縱剖面分析為主，並輔以河流坡降指數(S-L Index)，坡降指數利用地形學河流縱剖面的概念，評估原河流縱剖面與理想河流縱剖面間的差異，用河流坡降指標作為評估的依據。可提供做河床坡度異常的區段，再經由現場踏勘即可研判瓶頸段的位置。

河流坡度指標計算係以理論河流縱剖面的河流坡降指標值作為比對數據，並以河流原始縱剖面做為對照坡度異常區域之底圖，當原河流縱剖面之河流坡降指標值與理想河流縱剖面之河流坡降指標值異常時，即為坡度異常區域。

4.1 河流縱剖面擬合計算

河流坡降值受到岩性以及構造的影響，假使能除去兩者對於河流坡降指標的影響，以平滑的河流坡降曲線來取代原始的河流縱剖面，此時的河流坡降及代表河流坡降平滑後的值，就是理想的河流縱剖面，使用迴歸軟體迴歸理想河流縱剖面，主要使用指數曲線來擬合，指數曲線有 Rubey(1941)所提出的擬合河流縱剖面曲線，函數如下：

$$Y = Y_0 e^{-(a_1 + a_2 + \dots + a_n)X}$$

Y_0 ：河床在 $X=0$ 時， Y 的高度

Y ：河床某點的垂直高度

X ：河床某點的水平距離，以河口為上

a_1 、 a_2 ... a_n ：和河床粒石大小、重量、形狀...有關的常數因子

4.2 河流坡降指標計算

計算河流坡降指標時，則採用下式，其中 $\Delta H / \Delta L$ 代表河床坡度，當某處河床坡度變化大時，其值相對增加；距離源頭 L 之區間長度為 ΔL 的河流坡降指標值， L 為平衡上下游差異的權重值，比較各河流是否在坡度變化上產生異常的依據。

$$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

表 1 民國 85 年、94 年與 98 年河道橫斷面比較表

編號	阿里山溪	民國 85 年 河道寬度	民國 94 年 河道寬度	民國 98 年 河道寬度	備註
1	0K+000	164	223	225	全仔社橋 匯流處
2	0K+500	125	301	326	
3	1K+000	272	328	375	
4	1K+500	209	227	259	
5	2K+000	142	141	313	
6	2K+500	88	103	255	社興橋
7	3K+000	76	169	380	
8	3K+500	98	177	221	
9	4K+000	51	102	181	
10	4K+500	200	111	277	
11	5K+000	84	114	193	五鄰大橋
12	5K+500	90	142	185	
13	6K+000	76	107	171	
14	6K+500	122	183	295	
15	7K+000	48	112	203	
16	7K+500	39	89	143	來吉大橋
17	8K+000	81	115	177	

ΔH ：每單位區段之高程差(m)

ΔL ：每單位區段之距離(m)

L：源頭至區段終點之距離

4.3 製作河流坡度異常區域圖

研究三個時期之阿里山溪以進行評估河流坡度異常區域，由圖 11~圖 13 中可以發現在阿里山溪子集水區內主河道與各支流有出現凹坡以及突坡的位置，其河流坡度異常區域圖確有出現異常區，河流坡度異常區的確有判釋的能力。

4.4 河流異常區域型態討論

本研究河流異常區域是根據理論與原始河流坡降指標值之間的差異值來定義，將針對河流異

常區域的型態進行分類與討論，其異常區域的模式可以分為三種：

1. 河流異常區域呈現單一凸峰：

此種形式大多出現在河流坡度陡降區凸峰區的河流坡降指標值差值達兩倍以上，且常伴隨著有一連續坡度異常區域一同出現，此類型可再區分兩種類型，(a)河流因小規模侵蝕河階地形而使原始河流坡降指標值呈現鋸齒狀與理論河流坡降指標值連續交錯，下湖野溪屬於此類型。(b)原始河流坡降指標值在一區間僅呈現單一凸峰，民國 85 與 94 年哇嘟嘟娜溪屬於此類型。

2. 河流異常區域呈現連續交錯：

此種形式在分析結果中較多見，於民國 98 年

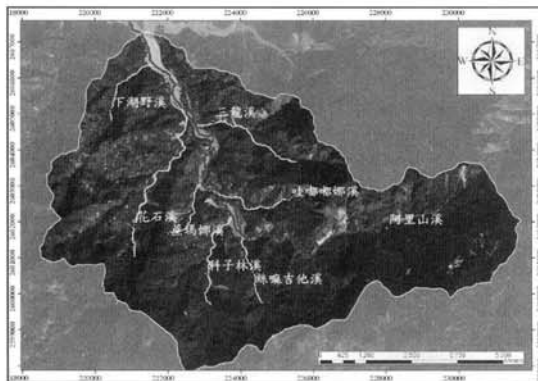


圖 6 阿里山子集水區水系分布圖

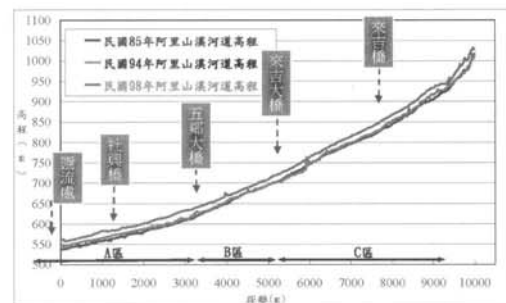


圖 7 民國 85 年、94 年及 98 年阿里山溪河道縱剖面圖



圖 8 民國 85、94 及 98 年間阿里山溪河道高程變異情形

莫拉克颱風過後阿里山溪、花石溪、科子林溪最為顯著，受侵蝕作用甚鉅，使得河流縱剖面出現有規模的侵蝕河階地形，當河流在侵蝕區時坡降指標呈現凸峰的形狀，反之在堆積區時則是呈現凹峰的形狀，此種形式在此類型多出現在河流中差異侵蝕規模較大區域，距離長達 3,000~5,000 公尺，於是原河流縱剖面的河流坡降指標值便成鋸齒狀與理想河流縱剖面的河流坡降指標值連續交錯。

3. 河流異常區域呈現持續的高峰：

此種形式大多出現在河流源頭區域，或是支流河道與主流匯流處，與及在河流中段因出現較坡度較大落差處，或在河流中段因出現較大規模上游差異侵蝕的河段，民國 98 年哇啞啞娜溪、蔗瑪娜溪皆屬於此類型。

五、結論

1. 研究區域現今以及過去所發生的災害，通常無完整的全面性人工現地測量，山區以及高程落差較大之處人員無法進行量測，所以利用航空攝影對研究區進行全區航攝作業，可快速重建並全面性得到量測區內地形地貌資訊，並可推估崩塌區與堆積區土石量。
2. 集水區的整體規劃應從現況了解、調查，找出本集水區的問題所在，並依其訂定策略及實施方法。清疏作業的需求與工作內容的擬定，應按整體治理的需求項目來訂定，因此對於集水區土砂量之規模與分布狀況的了解為其重要，應用數值航空攝影測量方法來評估河道瓶頸段為可行之方法。
3. 區域性的清疏計畫，尤其莫拉克風災後，大型野溪有非常大量土石堆積，亟待處理者，可依前述阿里山溪子集水區逐步經由檢討實施後，恢復地方安全的環境。
4. 經過正攝影像的判釋，民國 85 年至 94 年阿里山溪 3K+000 處，河床變寬 93 公尺，至民國 94 年至 98 年河床變寬 211 公尺，屬變異較大地段，利用平面型態可以了解不同時期河道變遷情形，民國 85 年至 94 年社興橋至來吉橋上游 150 公尺處阿里山溪堆積量約為 1,542,275 立方公尺，平均整個河道的堆積高度約為 2.01 公尺，民國 94 年至 98 年社興橋至來吉橋上游 150 公尺處阿里山溪堆積量約為 11,363,839 立方公尺，平均整個河道的堆積高度約為 11.54 公尺。

5. 透過河流坡降指標值計算區間的設定，可以解釋原河流縱剖面在坡度上的變化，而將原河流縱剖面與理想河流縱剖面的河流坡降指

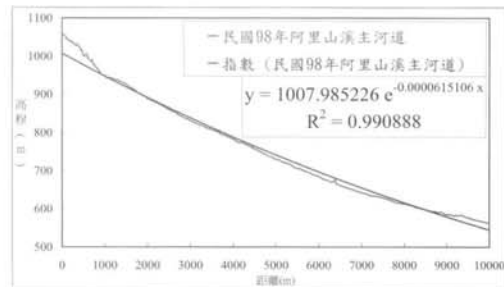


圖 9 阿里山溪理想河道縱剖面示意圖

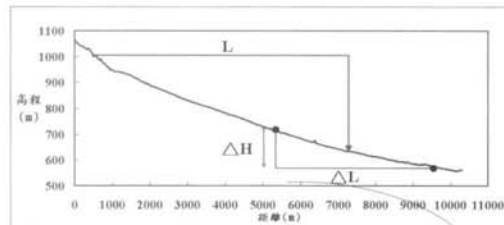


圖 10 河流坡降指標計算示意圖

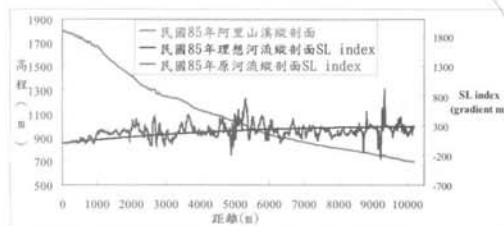


圖 11 民國 85 年阿里山溪河流坡度異常區域

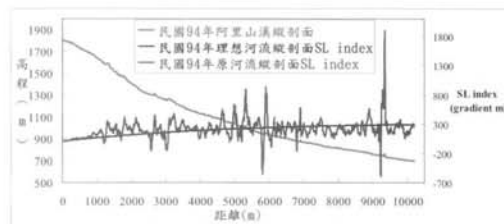


圖 12 民國 94 年阿里山溪河流坡度異常區域

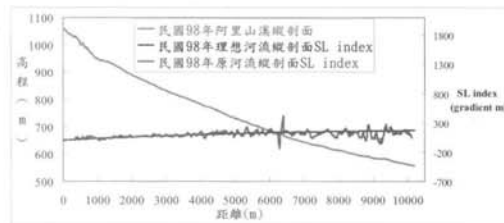


圖 13 民國 98 年阿里山溪河流坡度異常區域

表 2 河道堆積量與平均堆積高度

年份	河道範圍	河道面積 (m ²)	土石堆積量 (m ³)	平均堆積 高度(m)	備註
94	社興橋至來吉橋 上游 150 公尺處	769,002	1,542,275	2.01	水土保持局管轄範圍
	匯流口(全仔社橋)到來 吉橋上游 150 公尺處	1,410,299	4,110,299	2.91	包含河川局部分管轄範圍；匯流 口為阿里山溪與石鼓盤溪 兩溪交界處
98	社興橋至來吉橋上游 150 公尺處堆積量	984,563	11,363,840	11.54	水土保持局管轄範圍
	匯流口(全仔社橋)至來 吉橋上游 150 公尺處	1,150,737	17,113,490	14.87	包含河川局部分管轄範圍；匯流 口為阿里山溪與石鼓盤溪 兩溪交界處

標值加以比對，則可以繪製河流坡度異常區域圖提供判釋坡度異常的位置與及程度。再進行現場踏勘確定造成坡度異常為河道本身而非人工構造物，並且將河流邊坡的危險區域深入研究，才是完整評估為河道瓶頸段，再進行後續的處理。

參考文獻

- [1] 羅偉倫(2010)，「應用河道高程時空變異推估河段危險程度之研究」。
- [2] 詹景丞(2009)，應用數值航空攝影測量於地形高程與地表特徵變易之評估。
- [3] 陳俊仰(2005)，應用數值航空攝影測量於土石變異量空間分佈之評估。
- [4] 李準勝、蔡龍珩(2009)，「中台灣造山運動帶河流縱剖面坡降指數的量化分析」。
- [5] 陳良健(2010)，數位影像之遙測優勢數位影像之遙測優勢。
- [6] 何維信(1995)，「航空攝影測量學」，大中國圖書公司。
- [7] 歐陽元淳(2003)，「水庫集水區土壤沖蝕之研究-以石門、翡翠水庫為例」，國立臺灣大學地理環境資源學系研究所碩士論文。
- [8] 歐陽鍾裕(1986)，「航空攝影測量學」，國立中興大學。
- [9] 農林航空測量所，<http://www.afasi.gov.tw/news.asp>。
- [10] Khazai, B. and Sitar, N. (2000), Companion website for landslides in Native Ground: A GIS-Based Approach to Regional Seismic Stability Slope Stability Assessment.
- [11] Leica Photogrammetry Suite Project Manager User's Guide(2005), Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC.
- [12] Richards, J. A. and X. Jia, 1999. Remote sensing digital image analysis: an introduction, 3rd ed., Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- [13] Wolf, P. R. and Dewitt, B. A. (2000), Elements of Photogrammetry (with Applications in GIS), 3rd edition.
- [14] Leica Photogrammetry Suite Project Manager User's Guide(2005), Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC.
- [15] Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer, 2000. Remote Sensing and Image Interpretation, 4th ed., John Wiley & Sons, New York, USA.
- [16] E. Brückl, F.K. Brunner, K. Kraus (2006), Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data, Engineering Geology 88 (2006) 149-159.

Operation of Wildcreek Cleanout Work -3 : Evaluation of Riverbed Aggradation Distribution and Magnitude

Ye-Xiu Jiang¹, Shang-Hao Wu², Cheng-Shou Tsai², Jung-Chi Lien³,
Miau-Bin Su^{4,*}

¹ Section head of Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture —Executive Yuan

² Engineer of Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture —Executive Yuan

³ Division head of Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture —Executive Yuan

⁴ Professor; Department of Civil Engineering, National Chung-Hsin University

Keywords

Digital Photogrammetry;
Digital Terrain
Module(DTM) ;
River Morphology;
Variation of River Bed
Elevation; Necking Zone

Article history

Received 27 March 2012
Revised 15 April 2012
Accepted 28 April 2012
(Discussion Period Open
Until 30 July)

Abstract Traditionally, geographic data for the field need surveying work. For the river form in a watershed is not easy to survey, not to say the past record. Rebuild orthoimage and DTM for different time stage can be applied to landslides quantification and aggradation in riverbed. Understanding distribution and magnitude for debris in river course is very important for planning the remedial work. In this research, A-Li-shan creek watershed is chosen to verify the methodology proposed here. LPS modules is applied to rebuild DTM for three different stage, for year 1996, 2005 and 2009 respectively Arc-Hydro module together with 3D analyst are applied to investigate river morphological change.

Slope-length index is then applied to analyze longitudinal profile of the river bed elevation. For those abnormal sections are judged as the necking zone for debris transport after verifying with field reconnaissance.

*Corresponding author. TEL.: +886 +4 +2287-2221 ext. 106;
FAX: +886 +4 +2285-6409
E-mail address: mbsu@dragon.nchu.edu.tw